

Aus der Prothetischen Abteilung
(Professor Dr. K. Fuhr)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten
(Direktor: Professor Dr. Dr. W. Ketterl)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Prüfmethoden der Oberflächenwiedergabe
von Abformmaterialien**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
Rüdiger Krebs
aus Oldenburg

Mainz 1972

Aus der Prothetischen Abteilung
(Professor Dr. K. Fuhr)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten
(Direktor: Professor Dr. Dr. W. Ketterl)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Prüfmethoden der Oberflächenwiedergabe von
Abformmaterialien

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahn-
heilkunde der Hohen Medizinischen Fakultät der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Rüdiger Krebs
aus Oldenburg

Mainz 1972



DEKAN : Prof. Dr.K.H.Bäbler
REFERENT : Prof. Dr.H. Marx
KORREFERENT:Prof! Dr.K. Fuhr

FÜR MEINE ELTERN

Inhalt

	Seite
1) Einleitung	6
2) Fremduntersuchungen	7
a) Untersuchungsziel	7
b) Untersuchungsmethoden	7
c) Oberflächengestalten	9
3) Eigene Untersuchungen	10
a) Original	10
b) Gang der Messungen	11
c) Materialien	14
d) Statistik	16
4) Ergebnisse der eigenen Untersuchungen	18
a) Rauhnormen	18
b) Materialien	20
1) Iteco	20
2) Impregum	22
3) LU 25	24
α) Feucht	25
β) Trocken	26
4) Lastic Ultrafeinst	28
5) Xirux F	30
c) Besonderheiten im Vergleich	32

5) Diskussion der Verfahren	34
6) Kritik der Ergebnisse	40
7) Zusammenfassung	43
8) Literaturverzeichnis	44

In den letzten Jahren haben zunehmend neue Abdruckmassen ihren Eingang in die zahnärztliche Prothetik gefunden. Bei der Wiederherstellung der Kaufunktion im Lückengebiss, im unbezahnten Kiefer, und auch bei der Restauration einzelner Zähne, haben die klassischen Abdruckmassen Gips, Stents und Kerr Rivalen bekommen, die die positiven Eigenschaften dieser Mittel in sich zu vereinigen suchen. In hohem Maße wichtig erscheint hierbei neben Formbeständigkeit, Elastizität, Fließvermögen, Rückstellvermögen, Temperaturbeständigkeit und Zugfestigkeit, die präzise Wiedergabe von Oberflächen.

Hier soll insbesondere die Mikrostruktur der durch Abdrücke entstandenen Oberflächen untersucht werden, die im Gegensatz zur Untersuchung der Makrostruktur durch DOLDER (2), EICHNER (4), VAN THIEL (18), WEIKART (19) u.a. bisher nur selten Ziel der Untersuchungen war, wie z.B. bei HENKEL (7,8,9), MEYER u. UHLIG (14) und WILHELM (20).

Nach WILHELM (20) sind dabei folgende fünf Faktoren zu beachten:

1. Die Eigenrauhigkeit des Materials.
2. Die Verarbeitungsrauhigkeit des Materials.
3. Die vertikalen und horizontalen Druckkomponenten.
4. Die Bearbeitungsrauhigkeit des Objektes.
5. Die Eigenrauhigkeit des Objektes.

Nach VAN THIEL (18) kommt es nun darauf an, diese fünf Faktoren als Fehlerquellen möglichst einzuschränken. Darüberhinaus jedoch müssen auch die möglichen Fehler der Untersuchungsmethoden berücksichtigt werden, d.h. daß einer möglichst empfindlichen, von Störquellen freien Prüfmethode der Vorzug zu geben ist.

2) Fremduntersuchungen:

a) Untersuchungsziel

Recht reichhaltig ist die Literatur über Untersuchungen von Abdruckmassen. Meist standen Formbeständigkeit, Elastizität, Fließvermögen, Rückstellvermögen, Temperaturbeständigkeit und Zugfestigkeit im Brennpunkt des Interesses. Die Präzision der Reproduktion von Oberflächen wurde besonders von BRUNNER (1), DOLDER (2), HENKEL (7,8,9), SCHWINDLING (15) und WILHELM (20) untersucht.

b) Untersuchungsmethoden

MEYER und UHLIG (14) wiesen darauf hin, daß der bisher gebrauchte Begriff der Abdruckschärfe nur eine zweidimensionale Umschreibung eines eigentlich dreidimensionalen Zustandes ist, der demzufolge besser mit dem Eigenschaftsmerkmal "Wiedergabegenauigkeit" umschrieben wäre.

Von den meisten Autoren wurden einfache Kriterien zur Prüfung herangezogen, zum Beispiel vollständige Erkennbarkeit einer abzubildenden Linie. Ähnlich sind die Anforderungen der ADA (25), die die Erkennbarkeit einer 0,025 mm breiten Furche auf einem Prüfling mit drei cm ϕ fordert. MEYER und UHLIG (14) lehnen die früher auch gebräuchliche Überprüfung mit Münzabdrücken als ungenau ab. Da eine Objektivierung und eine Verfeinerung der Methode angestrebt wurde, verwendete als erster WILHELM (20) den schon bei metallurgischen Untersuchungen sehr bewährten Profilographen zur Untersuchung von Abdruckmassen. HENKEL (7,8,9) und LENZ (13) hingegen zogen das Schmalz'sche Lichtschnittmikroskop für ihre Untersuchungen heran. Zur Prüfung von Oberflächen gibt es nach WILHELM (20) folgende erprobte Methoden:

1. Auge
2. Fingerbeere
3. Fingernagel
4. Lupe
5. Präzisionsgeräte
 - a) Tastschnittgeräte

I Abfühlggeräte

- α) Perthograph
- β) Profilometer
- γ) Talysurf-Gerät
- δ) Oberflächenindikator nach Johansson

II Abtastgeräte

a) Oberflächenmeßgerät (nach Forster,
Leitz-Wetzlar)

β) Rauhtester Leitz-Wetzlar

γ) Profilograph nach Dr. Förster Reutlingen

b) Lichtschnittgeräte

c) Oberflächengestalten

Mit welcher Methode auch immer die Prüfung der Oberfläche vollzogen wird, erstrebenswert erscheint die Ermöglichung der Kongruenz eines Abdruckes mit dem Original, ist er doch ein möglicher Fehlerträger auf dem Wege Original -- Abdruck -- (eventuell galvanisches Bad) -- Arbeitsmodell -- WachsmodeLL -- Ersatzprodukt. Es sind also auf dem Wege der Zahnersatzherstellung bzw. Restaurierung alleine bei der Übermittlung der Form der Unterlage des Objektes vier bis fünf Fehlerquellen möglich.

Es stellt sich nun die Frage, welches Maß der Oberflächen eine bedeutende Rolle in der Übermittlung des Profilbildes liefert. Die Normengebung nach Din 4760 (23) liefert eindeutige Bezeichnungen für die entsprechenden Oberflächengestalten (nach WEIKART(19)).

DOLDER (2) differenziert die Abdruckgenauigkeit in

1. die Prägeschärfe

2. die Volumenänderung bei der Aushärtung

3. der Deformation bei der Entfernung des Abdruckes aus dem Munde.

Die Prägeschärfe selbst wird aufgegliedert in Tiefenschärfe, Feinheitenwiedergabe und Oberflächen- glätte. Der Ausdruck "Tiefenschärfe" entspricht hierbei der technischen Dimension Rauhtiefe (nach Din 4760 (23), die wesentlichen Anteil an der Form des Oberflächenprofiles hat. Der genauen Abbildung schmaler tiefer Rillen durch Abdruckmaterialien stehen die Korngröße der festen Bestandteile und die mangelnde Fließfähigkeit der flüssig - plastischen Bestandteile entgegen. Die im Munde abzubildenden Rauigkeiten sind gegeben

1. durch die Bearbeitung der Zahnhartsubstanzen durch den Zahnarzt,
2. durch die Beschaffenheit der Schleimhäute usw.

Untersuchungen über die Rauhtiefe an bearbeiteten Zahnoberflächen wurden besonders von EICHNER (5) und FUHR (6) vorgenommen. Sie stellten fest, daß eine Glättung bis herab zu einer Rauhtiefe von zwei bis fünf μ erreicht werden kann, in Abhängigkeit vom Bearbeitungsinstrument.

3) Eigene Untersuchungen:

a) Original

Um ein möglichst gleichförmiges, stetig reproduzierbares Original zur Herstellung eines Abdruckes

zur Verfügung zu haben, wurde das schon von WILHELM (20) verwendete Rauhnormal benutzt. Es besteht aus einem Hartmetallblock dessen Oberfläche mit gleichmäßigen parallel liegenden Prismen, die eine Rauhtiefe von $21 \mu \pm 15 \%$ aufweisen, ausgestattet ist und wird benötigt zur Eichung des Profilographen der Fa. Förster. Das an allen Stellen gleichmäßige geeichte Profil schließt die eingangs erwähnte Eigen- und Bearbeitungsrauigkeit des Objektes aus den Unwägbarkeiten nahezu aus.

b) Gang der Messungen

Als Beurteilungskriterien bei der Auswertung der Abdrücke bleiben die Faktoren:

1. Eigenrauigkeit des Abdruckmaterials,
2. dessen Verarbeitungsrauigkeit,
3. die vertikalen und horizontalen Druckkomponenten beim Abdruck.

Diese Druckkomponenten wurden durch die Versuchsanordnung weitgehend konstant gehalten. Durch die Verwendung industriell vorgefertigter Metallringe der gleichen Größe, in die das Abdruckmaterial eingebracht wurde, wurde der zahnärztliche Kupfer-ringabdruck nachgeahmt. Es ist also anzunehmen, daß die Druckverhältnisse einer praxisgerechten Konstanz unterworfen waren. Die Materialien wurden entsprechend den Gebrauchsanweisungen mit gesäuberten Hilfsmitteln angemischt.

Die Raumtemperaturen während der Versuche schwankten zwischen 22° und 25° C, die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40 und 55 %.

Nach der Abdrucknahme wurden die Abdrücke entsprechend der Angaben der Hersteller 24 Stunden gelagert und anschließend fand die eigentliche Auswertung statt. Dabei wurden zwei Meßmethoden nebeneinander verwandt, die verglichen werden sollten.

Das zuerst angewandte Verfahren war das von Schmaltz entwickelte Lichtschnittmikroskop (Hersteller Carl Zeiss, Oberkochen).

Es arbeitet nach dem Prinzip des optischen "Schnittes" durch die Oberfläche, in dem ein äußerst schmaler Lichtspalt unter einem Winkel von 45° auf den Prüfling projiziert wird. Dieser Lichtspalt folgt den Oberflächengestalten und wird von ihnen reflektiert. Durch ein im Winkel von 90° zum Projektionsobjektiv stehendes Beobachtungsobjektiv kann dieses Reflektionsbild betrachtet werden. Mittels eines geeichten Meßokulares ist die direkte Messung sowohl der Rautiefe als auch des Rillenabstandes möglich. Dieses Verfahren arbeitet also ohne mechanische Berührung oder gar Verletzung der Oberfläche. Die notwendige Einstellung der Schnittebene in den rechten Winkel zum Verlauf der Rillen war sehr genau und sehr einfach zu erreichen, und zwar durch Durchschieben

des Objektes mit Hilfe eines angebrachten Kreuztisches unter Beobachtung einer Rille, die dann immer längs eines festgelegten Punktes zum Durchlauf zu bringen war.

Das zweite Verfahren war der Profilograph 5815 der Firma Dr. Förster, Reutlingen. Mit einer Diamantnadel, eingesetzt in einer hydraulischen Vorschubeinrichtung, wird die Oberfläche mit konstanter Geschwindigkeit abgetastet. Ein elektromechanisches Wandler-System führt der Nadelbewegung proportionale elektrische Spannungen an einen Verstärker ab, der seinerseits ein Schreibwerk speist. Dieses schreibt nun sofort formgetreue Werte auf einen Millimeterpapierstreifen (Vergrößerung und Vorschubgeschwindigkeit sind variabel). Das Meßsystem, ein sogenannter Krümmungstaster besitzt zwei Kufen, die während der Messung die Werkstoffoberfläche nicht verlassen dürfen. Andererseits dürfen diese Punkte die Oberfläche nicht zu stark belasten, was sich in der Praxis nur schwierig durch mehrfache Versuche erreichen läßt. Die Abtastnadel selbst hat nur einen geringen Auflagedruck (unter 0,1 g) (21), um Beschädigungen, bzw. Eindrücke in der Oberfläche zu vermeiden. Bei der relativ kleinen Auflagefläche jedoch (Spitzenradius 10 μ (21)) werden wahrscheinlich recht hohe spezifische Belastungen nicht auszuschließen sein.

An den Spitzen des Profils, wo sich Nadel und Abdruckmaterial nur auf der Fläche von maximal $3 \mu^2$ berühren ergibt sich überschlagsmäßig eine spezifische Belastung von mehr als $300 \frac{p}{cm^2}$, die immerhin für weiche Abdruckmaterialien schon recht beachtlich ist. Weiterhin ist auch die Einstellung der Schnittebene in den rechten Winkel zum Profil nicht vollkommen exakt nachprüfbar. Bei der Ausmessung muß ferner darauf geachtet werden, daß der Meßplatz frei von Erschütterungen bleibt. Die Meßstrecke wurde für beide Verfahren ähnlich gewählt. Es wurden drei parallele Strecken von je fünfzehn Paaren maximaler Hoch- und Tiefpunkte ("Berg und Tal") des Normalprofils ausgemessen, die in der Mitte des ungefähr dreizehn mm durchmessenden Abdruckes lagen. Das geschah zunächst absolut beschädigungsfrei unter dem Lichtschnittmikroskop und sofort im Anschluß daran mit dem Profilograph. Pro Verfahren wurden so für jeden Abdruck drei mal fünfzehn, also fünfundvierzig Werte ermittelt, die beim Lichtschnittmikroskop direkt abgelesen, beim Profilograph aus den Schreibstreifen ersichtlich waren.

c) Material

Um einen möglichst weiten Bereich von Abdruckmassen den beiden Prüfmethoden zu unterwerfen, wurden verschiedenartige Materialien ausgewählt,

und zwar:

1. I T E C O, Fa. Karr Dental Ltd., Zürich, Schweiz
2. I M P R E G U M, Fa. Espe, 8031 Seefeld/Obb
3. LU 25 (nicht im Handel) Fa. A. Kettenbach
4. L A S T I C U L T R A F E I N S T, Fa. A. Kettenbach, 6341 Wissenbach
5. X I R U X F, Fa. M. Woelm, 344 Eschwege

1. I T E C O, eine Zinkoxyd - Eugenol - Paste ähnlich der Kelly - Paste (bestehend aus Zinkoxyd, Kolophonium, Perubalsam, Kanadabalsam und Nelkenöl, sowie Weichmacher und Füllstoffe (15)), ergibt einen starren, weichen, unelastischen Abdruck.

2. I M P R E G U M, ein Polyäthergummi (Tetramethylen-glycol mit Aziridinogruppen am Ende, der Katalysator enthält Sulfonsäureester (21)) ergibt einen relativ harten und recht starren aber dennoch gut elastischen Abdruck.

3. LU 25, ein nicht im Handel erhältliches Versuchsprodukt auf Silicon-Kautschukbasis. Die Silicon Abdruckmassen gehören chemisch zu den Siloxanen. Die industriellen Grundstoffe dieser komplizierten Siliziumverbindungen sind meist Sand, Erdöl und Meerwasser (15). Es ergibt einen relativ harten und recht starren Abdruck, der etwas weniger elastisch ist.

4. L A S T I C U L T R A F E I N S T, ebenfalls ein Siliconkautschuk, ergibt einen weichen, noch

geringfügig starren, gut elastischen Abdruck.

5. X I R U X F, eine dritte Siliconmasse, ergibt einen noch weicheren, kaum starren hochelastischen Abdruck.

Wie man sieht, unterscheiden die Materialien sich schon in ihren mechanischen Eigenschaften beträchtlich. Die Feststellung dieser Eigenschaften geschah rein subjektiv im Vergleich der Massen untereinander.

d) Statistik

Von jedem Abdruckmaterial wurden die drei besten Abdrücke aus der Serie verwendet. Insgesamt also drei mal fünfundvierzig Werte für jedes Material und Verfahren. Hieraus wurden für jede Meßlinie die Mittelwerte der Rauhtiefen und deren Standardabweichung berechnet. Zur Errechnung des Rauhtiefenmittelwertes wurde das folgende mathematische Verfahren benutzt:

$$\bar{x} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n}$$

Die Standardabweichung der gemessenen Werte berechnet sich aus:

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n-1}}$$

Die Standardabweichung des Mittelwertes nach:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

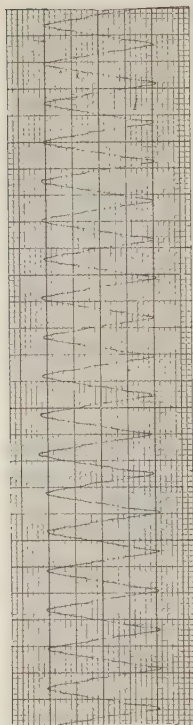
Aus den je neun Meßlinienmittelwerten (drei á Probe und Material) ergab sich der Rt-Gesamtmittelwert für ein Material. Der Mittelwert der Standardabweichung wurde errechnet aus:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{n}}$$

Proben die mit dem Auge erkennbare Fehler (meist Bläschen) aufwiesen wurden ausgeschlossen.

4) Ergebnisse der eigenen Untersuchungen:

a) Rauhnormal



Um einen Vergleich der Massen untereinander zu erleichtern, wird die Auswertung des Rauhnormals unter den Bedingungen, die auch für die Abdrücke gelten vorangestellt.

Lichtschnittmikroskopisch ergibt sich ein glattes gleichförmiges Profil. Die lichtschnittmikroskopischen Werte der Rauhtiefe liegen im Mittel bei $21,16 \mu$, die Standardabweichung beträgt im Mittel $0,536$. Sie ist beim Profilographen etwas niedriger, und zwar $0,377$, ebenso liegt der Mittelwert von $20,87 \mu$ etwas unter dem Soll von 21μ . Die Werte liegen also alle recht dicht beieinander, verglichen sowohl innerhalb der einzelnen Verfahren als auch unter-

Bild 1e

einander. (Siehe Bildseite I u. Bild 1e)

Die Bildseiten zeigen jeweils a) Aufsicht auf den Prüfling (ca. Originalgröße) b) Lupenvergrößerung seiner Oberfläche (Vergrößerung ca. $10 \times$) c) sein lichtschnittmikroskopisches Bild (Vergrößerung ca. $240 \times$) d) die Mittelwerte (— langer Strich) der verschiedenen Meßmethoden und mittleren Standardabweichungen (— kurze Striche) e) zugehörige Profilographenmeßstreifen.

RAUH - NORMAL

Original

25

24

23

22

21

20

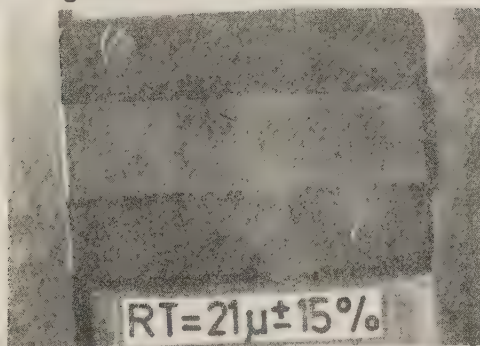
19

18

17

μ

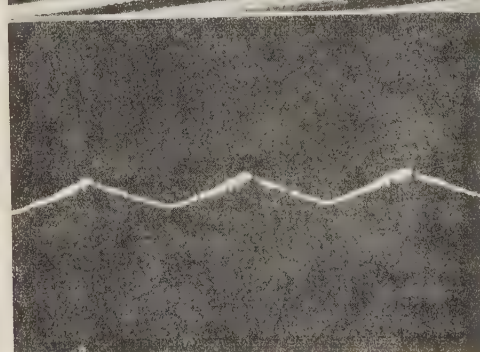
a



b



c



d)

Bildspite I: a) Aufsicht b) Lupenvergrößerung
c) Mikroskopbild d) Mittelwerte mit Standard-
abweichung



Lichtschnittmikroskop

Profilograph

b) Materialien

1) Die Abdrücke aus dem Material

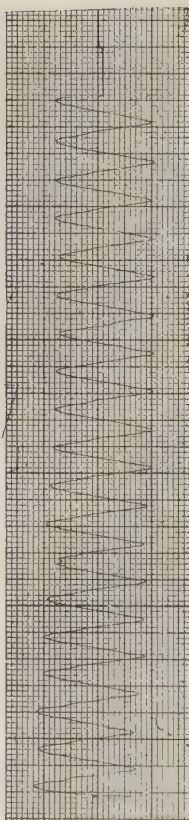


Bild IIe

Profilograph-
streifen

ITECO fielen auf durch ihre erstaunlich hohe Präzision und Oberflächenglätte. Jedoch zeigen hier beide Verfahren sehr unterschiedliche Werte der Rauhtiefe an.

Während das Lichtschnittmikroskop eine leichte Überhöhung der Rauhtiefe angibt, Mittelwert $22,73 \mu$, bei geringer Standardabweichung $0,865$, nivelliert der Profilograph noch mehr: Standardabweichung $0,666$.

Der Mittelwert für die Rauhtiefe ist mit $17,64 \mu$ extrem niedrig. Bei Betrachtung der Oberfläche mit der Lupe wird dem Betrachter auch sofort klar warum!

Deutlich sind die Abtastspuren des Profilographen zu erkennen (siehe↑Bild II b). (Bildseite II und Bild II e)

ITECO

Proben XI, XII, XIII

25

24

23

22

21

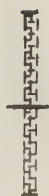
20

19

18

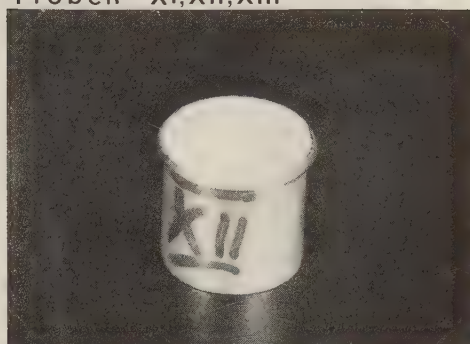
17

μ

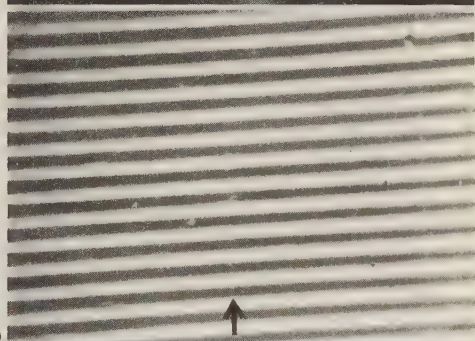


d)

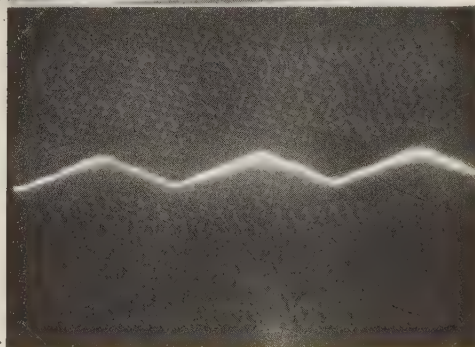
a



b



c



Bildseite II: a) Aufsicht b) Lupenvergrößerung
c) Mikroskopbild d) Mittelwerte m. Standardabweichung
Lichtschnittmikroskop
Profilograph
Tastspur des Profilographen

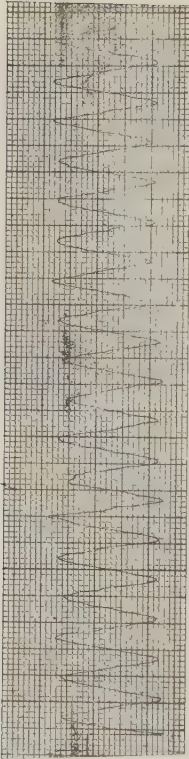


Bild IIIe

Profilograph-streifen Werte.

- 2) Für IMPREGUM, das sich bei beiden Meßarten ebenfalls durch eine glatte sehr präzise Oberfläche auszeichnet, liegt der Mittelwert der lichtschnittmikroskopisch gemessenen Rauhtiefe bei $21,83 \mu$ bei einer Standardabweichung von $0,687$ im Mittel. Der entsprechende Wert des Profilographen liegt mit $0,767$ nur geringfügig höher; für die Rauhtiefe wurden nur $18,08 \mu$ gemessen, also deutlich niedrigere
- (Bildseite III und
Bild III •)

IMPREGUM

Proben XVII.XVIII.IXX

25

24

23

22

21

20

19

18

17

u



a

b

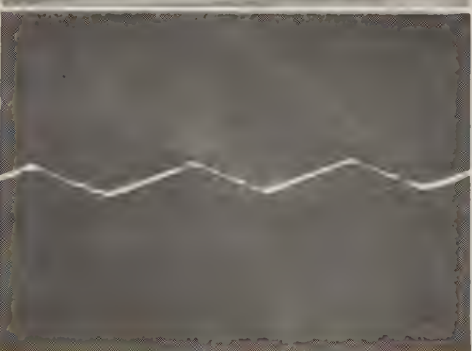
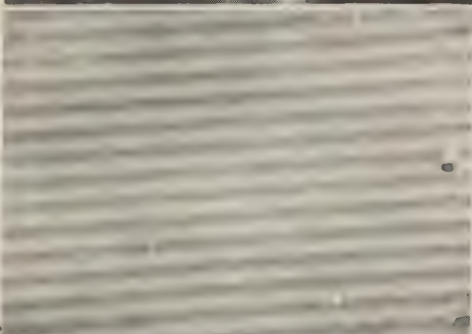
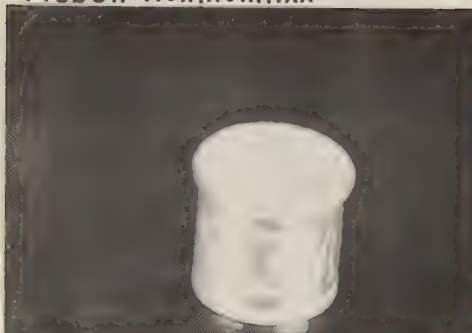
c

d)

Bildseite III: a) Aufsicht b) Lupenvergrößerung
c) Mikroskopbild d) Mittelwerte m. Standardab-
weichung



Lichtschnittmikroskop
Profilograph



- 3) Das Versuchsprodukt LU 25 zeichnet sich durch eine Besonderheit aus, die sich erst im Laufe der Untersuchungen herausstellte. Einige Zeit nach Vollendung des Abbindevorganges konnte eine auf der Oberfläche abgeschiedene Flüssigkeit (nach Rücksprache mit dem Hersteller als Öl anzusprechen) beobachtet werden. Insbesondere das Lichtschnittmikroskop zeigte dieses Ergebnis deutlich an, was sich in dem Mittelwert von $19,85 \mu$ deutlich niederschlug (siehe Bild IV c.) Die mittlere Standardabweichung von $3,162$ verdeutlicht die große Streubreite der Werte. Demgegenüber verdrängte der Profilograph deutlich das Öl, das sich besonders in den "Profiltälern" angesammelt hatte und kam bei einer mittleren Standardabweichung von $3,164$ auf einen Rauhtiefenmittelwert von $20,85 \mu$. (Bildseite IV und Bild IV e.)

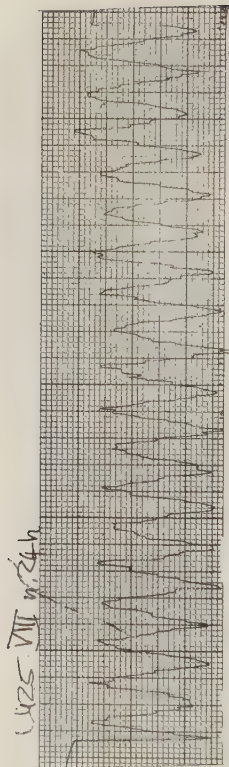


Bild IVe
Profilograph-
streifen

LU 25 (FEUCHT)

nach 24 h, Proben VII, VIII, X

25

24

23

22

21

20

19

18

17

μ

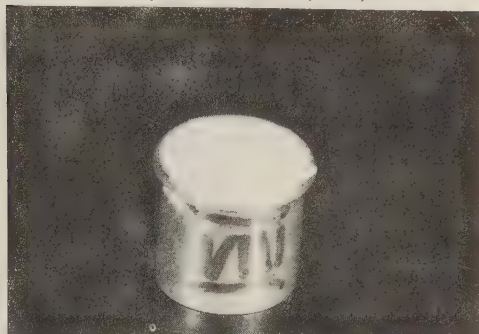
a

b

c

d)

Bildseite IV: a) Aufsicht b) Lupenvergrößerung
c) Mikroskopbild d) Mittelwerte m. Standardab-
weichung



B) Um eine Überprüfung dieser Werte

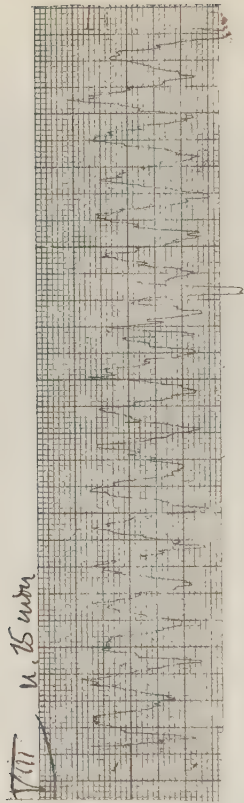


Bild 76
 Profilograph-
 streifen

vorzunehmen wurde das Material schon 15 Minuten nach der Abdrucknahme dem Meßvorgang unterzogen, wenn das Öl noch nicht ausgetreten war. Jetzt ergab sich ein ganz anderer Rauhtiefenmittelwert, nämlich $23,92 \mu$ mit einer Standardabweichung von nur 1,582 im Mittel. Der Profilograph lieferte wieder ähnliche Werte wie bei der ersten Messung, was auf eine Bestätigung der Veränderung des Öles hinweist: $RT = 20,95 \mu$, Standardabweichung 3,422. Diese hohe Standardabweichung macht aufmerksam auf etwas, was auch am Profilbild des Profilographenmeßstreifen und am lichtschnittmikroskopischen Bilde auffällt: Die Oberflächenglätte ist etwas schlechter als die der beiden ersten Materialien (Bilder IV b und V b). Es zeigt sich, daß besonders der Profilograph mit Ungenauigkeiten in der Messung auf derartige Rauigkeiten antwortete wie das auch schon WILHELM (20) 4

seiner Arbeit zum Ausdruck bringt. (Bildseite V, Bild Ve

26

25

24

23

22

21

20

19

18

17

U

LU 25 (TROCKEN)

nach 15 min, Proben VII, VIII, X

a

b

c

d)

Bildseite V : a) Aufsicht b) Lupenvergrößerung
c) Mikroskopbild d) Mittelwerte m. Standardab-
weichung  Lichtschnittmikroskop
 Profilograph

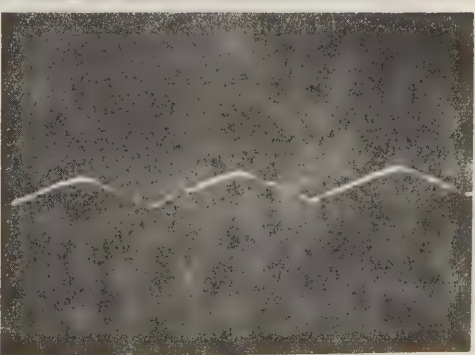
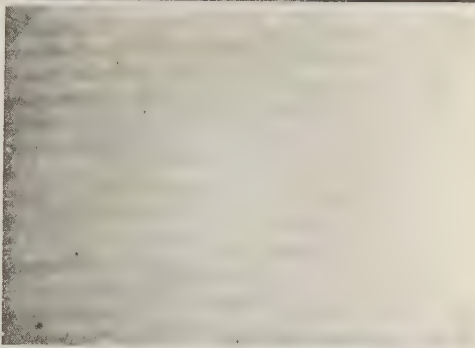
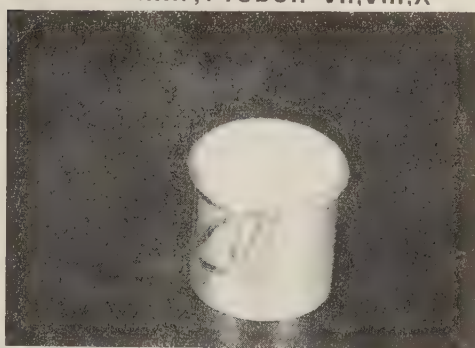




Bild VIe
 Profilograph-
 streifen

4) Auch bei LASTIC UL-
 TRAFEINST ist die
 Oberflächenglätte
 nicht so hervor-
 ragend. (Bild VI b)
 Im RT - Mittelwert
 des LSM drückte
 sich dies mit $21,66 \mu$
 ebensowenig aus wie
 in der mittleren
 Standardabweichung
 mit $0,987$.
 Dagegen zeigen sich
 die entsprechenden
 Profilographenwerte
 $19,15 \mu$ und $3,658$,
 deutlich davon beein-
 flußt.
 (Bildseite VI und
 Bild VI e)

LASTIC ULTRAFEINST

Proben III, IV, V

25

24

23

22

21

20

19

18

16

μ

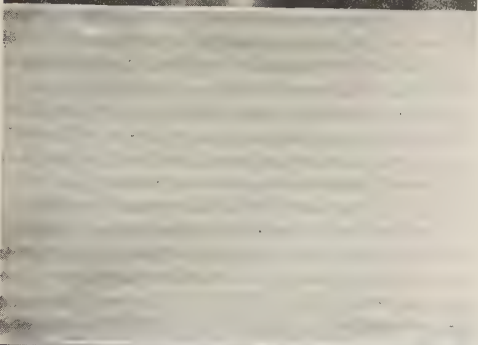
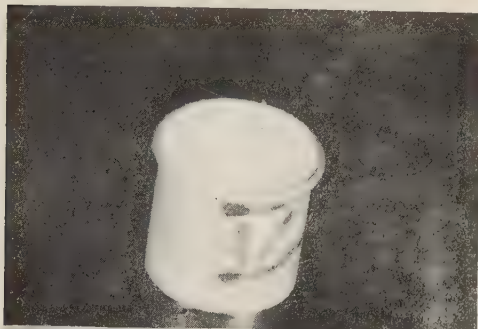
d)

a

b

c

Bildseite VI: a) Aufsicht b) Lupenvergrößerung
c) Mikroskopbild d) Mittelwerte m. Standardab-
weichung



Lichtschnittmikroskop

Profilograph



Bild VIIe
 Profilograph-
 streifen

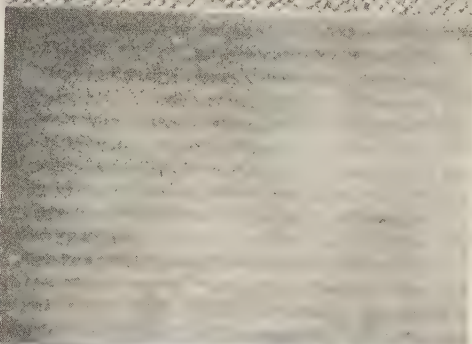
5) XIRUX F erweist
 sich in vieler-
 lei Hinsicht dem
 vorhergehenden
 Material ähnlich
 (siehe Bild VII b)
 LSM Rauhtiefen-
 mittelwert $23,13 \mu$
 bei einer mittleren
 Standardabweichung
 von $0,915$.
 Entsprechende pro-
 filographische
 Werte sind hier
 $20,38 \mu$ und
 $3,504$.
 (Bildseite VII und
 Bild VII e)

XIRUX F

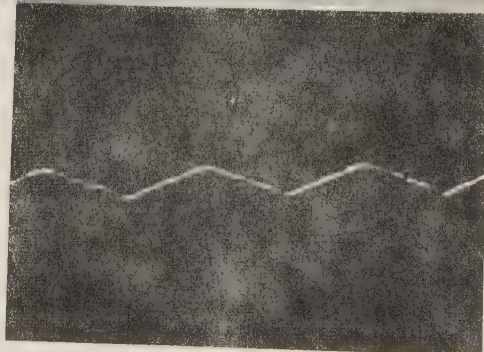
Proben XIV, XV, XVI



a



b



c

Bildseite VII: a) Aufsicht b) Lupenvergrößerung
c) Mikroskopbild d) Mittelwerte m. Standardab-

weichung



d)

17-
u

c) Besonderheiten im Vergleich

Die erwähnten feinen Oberflächenrauigkeiten lassen sich, wenn sie auch nicht so sehr die Meßwerte des Lichtschnittmikroskopes beeinflussen, doch sehr deutlich an den "Abhängen des Oberflächegebirges" beobachten. Es erscheint also durchaus als Vorteil des Lichtschnittmikroskopes, daß diese Rauigkeiten sich nicht als Faktor in den Meßwerten der Rauhtiefe niederschlagen. Beim Profilographen hingegen scheint, wie schon WILHELM (20) erwähnt: "daß die Tastnadel auf den vorhandenen feinsten Rissen in der Masse während des Testvorganges einrastet und die entstandene kleine Lasche für einen kurzen Augenblick herunterdrückt und dann über den Rand hinwegspringt, da der automatische Ablauf des Tastvorganges sie dazu zwingt".

Auffällig sind beim Vergleich die relativ großen Standardabweichungen beim Profilographen gegenüber dem Lichtschnittmikroskop; auch die Mittelwerte liegen beim optischen Verfahren dichter beieinander als beim mechanischen (der Wert für LU 25 feucht darf hierbei naturgemäß nicht berücksichtigt werden). (siehe Graphik 1)

Weiterhin scheint es bedeutsam, daß Flüssigkeiten auf der Oberfläche von Prüflingen vom Profilographen nicht in der Messung angezeigt wurden.

GRAPHIK 1

Mittelwerte u. Standardabweichung

Profilograph

25

24

23

22

21

20

19

18

17

15,5

Lichtschnitt-
mikroskop

Original

Iteco

Impregum

L Ubs (feucht)

L Ubs (trocken)

Lastic ultrafeinst

Xirux F

Original

Iteco

Impregum

L Ubs (feucht)

L Ubs (trocken)

Lastic ultrafeinst

Xirux F

5) Diskussion der Verfahren:

Während zahlreiche Autoren sich der Überprüfung der einzelnen Abdruckmaterialien recht ausführlich widmen, und dabei unterschiedlich stark die Oberflächenwiedergabe in ihre Untersuchungen mit einbeziehen, hat sich hauptsächlich HENKEL (7,8,9) mit der Methodik solcher Untersuchungen befaßt. Er bewertete dabei die Mikrostruktur, die auch WILHELM (20) als wesentlichen Faktor erkannte. Die von beiden Autoren vorgeschlagenen Prüfmethoden sind jedoch stark unterschiedlich im Verfahren und teilweise auch im Ergebnis. Das von Henkel benutzte Schmalz'sche Lichtschnittmikroskop ist inzwischen weiterentwickelt worden und liefert in der hier zur Verfügung stehenden Ausführung der Firma Carl Zeiss jetzt eine verbesserte Meßmöglichkeit. Während früher mit relativ breiten Lichtspalten gearbeitet wurde, wird nun zugunsten der Genauigkeit ein wesentlich schmaleres Lichtband verwendet. Die Ergebnisse dieses im Prinzip immer noch gleichen Gerätes lagen aus nicht ganz geklärten Gründen zum Teil erheblich über den prophylographischen Werten. Die ermittelten RT-Werte liegen direkt bei den von der Apertur abhängigen Meßgrenzen des Mikroskopes bei der 400 fachen Vergrößerung. Bei der 200 fachen Vergrößerung wäre die erforderliche Genauigkeit im Bereich von 1 bis 2μ nicht mehr gegeben gewesen.

Im Gegensatz zum Profilographen war keine Abhängigkeit der Ergebnisse von irgendeiner physikalischen Eigenschaft der Prüflinge zu beobachten. Eine Darstellung der Oberflächenglätte bzw. -rauigkeit ist mit dem Lichtschnittmikroskop subjektiv leicht möglich, eine zahlenmäßige Dokumentation aber ist zeitlich wesentlich aufwendiger als beim Profilographen, da dessen Schreibstreifen besser auszuwerten ist, als das Foto des LSM. Das Gerät der Firma Förster ist zunächst von FUHR (6) zu Untersuchungen an Zahnhartsubstanzen und von HOLLAND-MORITZ (10) zu Begutachtungen metallischer Oberflächen eingesetzt worden. Später von STOFFREGEN (17) und STERN (16) auch zur Beurteilung von Kunststoffen und Zementen benutzt, wurde es von WILHELM (20) zur Überprüfung von Abdruckmaterialien herangezogen. Auffällig bei den Ergebnissen dieses mechanischen Abtastgerätes ist die geringe Standardabweichung bei starren und harten Materialien, die besonders bei Proben mit glatten Oberflächen sehr ausgeprägt ist. Weiterhin fällt auf, daß der profilographische Mittelwert der Rauhtiefe bei elastischen und / oder weichen Prüflingen besonders niedrig ausfällt. (vergleiche Tabelle 1)

Die Materialeigenschaften wurden im subjektiven Vergleich miteinander bewertet.

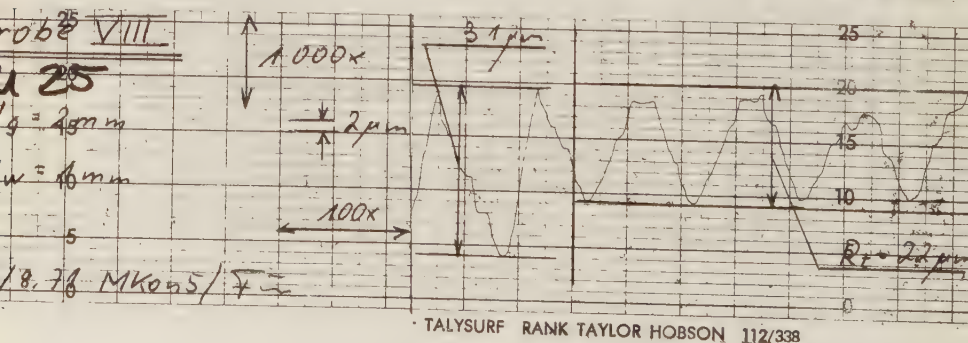
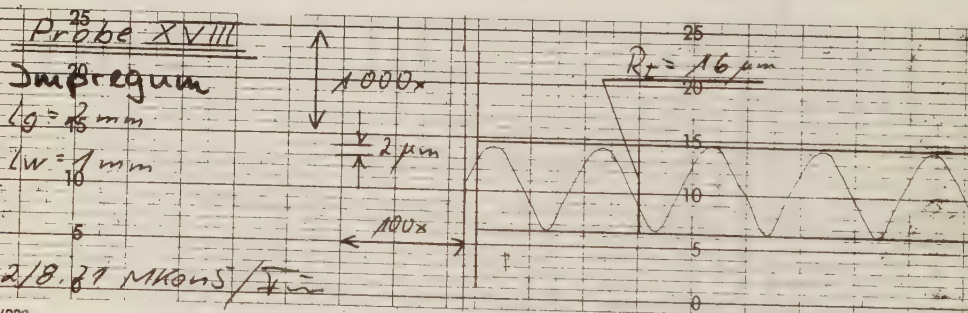
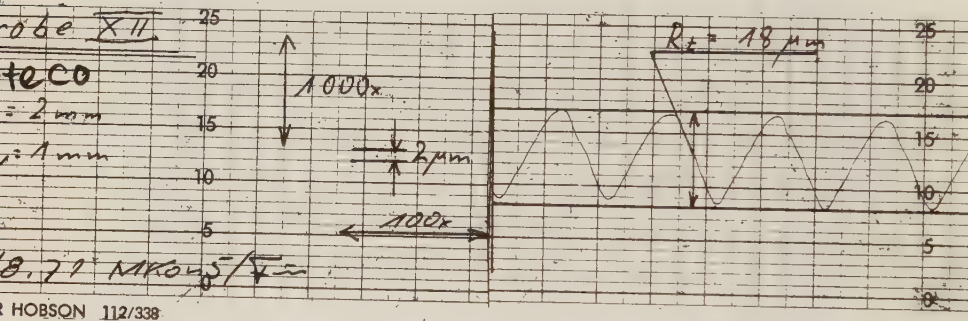
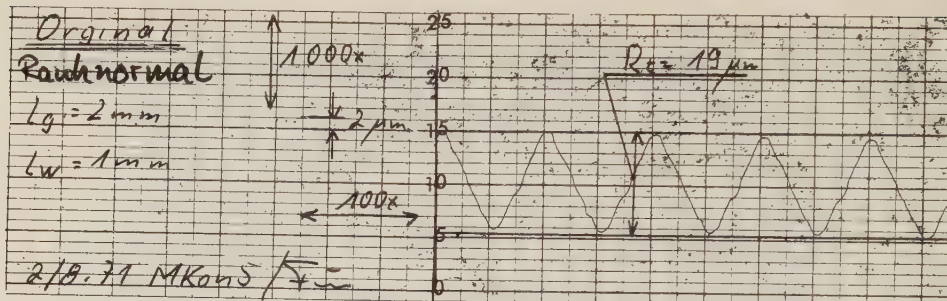
MATERIAL	ORIGINAL	ITECO	IMPREGUM	LU 25 (leicht)	LU 25 (normal)	LASTIC U.	XIRUX F
HÄRTE	+++	--	+	+	+	-	--
STARKEIT	+++	+++	++	++	++	+	-
ELASTIZITÄT	--	--	++	+	+	++	++
OBERFLÄCHENGÄLTE	+++	+++	++	+	+	+	+
TASTSPUR MIT DER LUPE ERKENNBAR	-	ja	-	ja	-	-	-
GESAMTMITTEL DES LICHTSCHNITTMIßKR.	21,16	22,73	21,83	19,85	23,92	21,66	23,13
GESAMTMITTEL DES PROFIOGRAPH	20,87	17,67	18,08	20,08	20,95	19,15	20,38
MITTEL, STANDARDABWEICH. DES ISM.	0,536	0,865	0,687	3,162	1,582	0,987	0,915
MITTEL, STANDARDABWEICH. DES PROFIO.	0,377	0,666	0,767	3,161	3,422	3,658	3,504

TABELLE 1

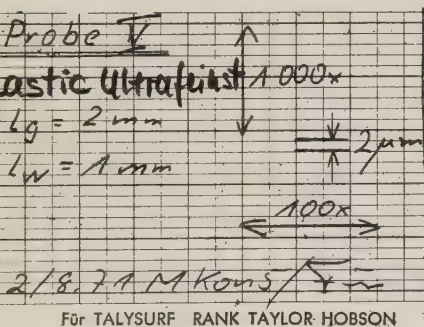
Reihenfolge der Zeichenvergabe: von stark positiv=+++ abnehmend über ++, +, -, --, bis zu--- =stark negativ. Beispiel: HÄRTE +++ =sehr hart, HÄRTE --- =sehr weich

Bei Iteco läßt sich eindeutig, an der von der Nadel hinterlassenen Spur nachweisen, daß ein zu hoher Auflagedruck Ursache dieser Meßwerte ist. Eine vollkommene Konstanz dieses Druckes ist durch die Veränderung der Gleichgewichtsverhältnisse am Tastkopf während des Meßvorganges ausgeschlossen. Es muß versucht werden, durch geschicktes Anpassen von Prüfling und Tastkopf in der Horizontalen daraus entstehende Fehlerquellen auszuschalten. Ebenso kompliziert gestaltet sich im Vergleich zum Lichtschnittmikroskop die Ausrichtung der Schnittebene im rechten Winkel zum Verlauf der Rillen. Auf das mögliche Springen der Nadel an kleinsten Unebenheiten wurde schon hingewiesen. Es scheint also, daß der Profilograph in seinem ursprünglichen Anwendungsgebiet (Metalle, Kunststoffe, also harte Materialien) die besten Ergebnisse liefert. Allerdings sind auch auf diesem Gebiet mögliche Fehlerquellen zu beachten; so ist die Diamantnadel deren Spitzenradius mit 10μ schon beträchtliche Ausmaße hat, einem natürlichen Verschleiß unterworfen, der auch den angegebenen Spitzen-Winkel von 60° betrifft.

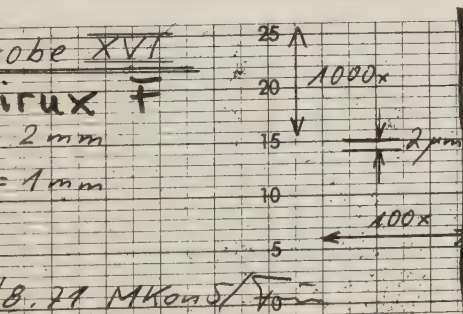
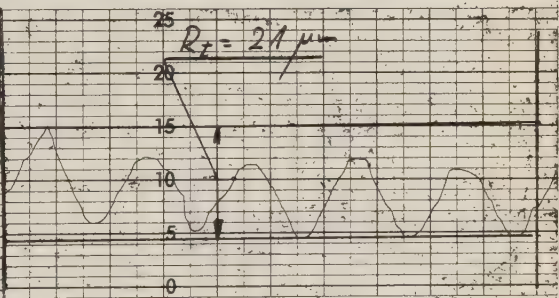
Ebenso ist der elektronische Schreiber technisch sehr aufwendig und dementsprechend anfällig gegen Störungen. Entschieden einfacher im Aufbau und störunanfälliger erscheint das Lichtschnittmikroskop, ohne dabei an Genauigkeit dem Profilographen unterlegen zu sein.



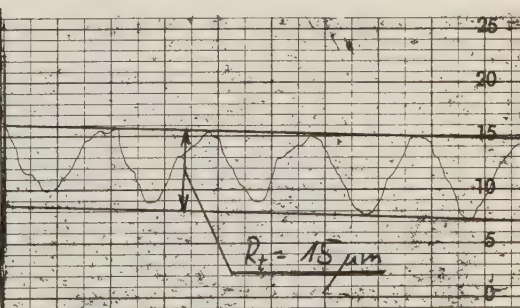
Ursprünglich wurde es auch hauptsächlich für metallurgische Untersuchungen benutzt, hat aber inzwischen in weite andere Gebiete der Meßtechnik (z.B. Schichtdickenbestimmungen, Papieroberflächenuntersuchungen usw.) seinen Eingang gefunden (ILLIG (11)). Für einige vergleichende Messungen stand kurzfristig ein Talysurfgerät (Rank Taylor Hobson) zur Verfügung. Auch die an diesem Tastschnittgerät ermittelten Werte zeigen sich ähnlich beeinflusst von der mechanischen Trägheit des Tasters wie die des Profilographen. Eine statistische Auswertung der Ergebnisse war nicht möglich, zum Vergleich sind aber die aufgezeichneten Kurven geeignet. (Siehe Bildseite VIII und unten)



Für TALYSURF RANK TAYLOR HOBSON



Für TALYSURF RANK TAYLOR HOBSON 112/338



Talysurf-Meßstreifen

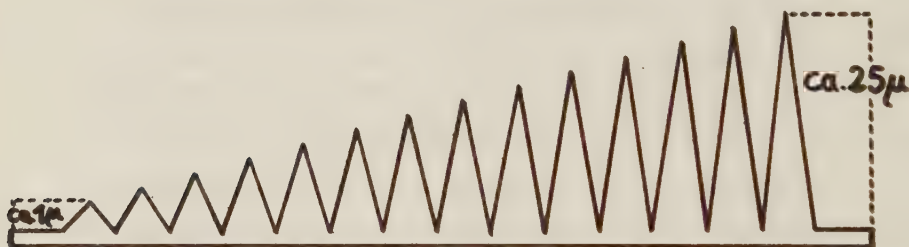
6) Kritik der Ergebnisse:

Wenn die Untersuchungsmethoden Gegebenheiten der Praxis unbeachtet lassen, so geschieht dies um ein stetig reproduzierbares werkstoffkundliches Untersuchungsverfahren zu erhalten. Das gilt auch für die von MEYER und UHLIG (14) geübte Kritik an Abdruckuntersuchungen ohne die Berücksichtigung des Speicheleinflusses auf die Abbildungsgenauigkeit. Es bedarf also im Einzelfall noch der Untersuchung, welchen Einfluß Feuchtigkeit bzw. Speichel auf die Reproduktion des Oberflächenrelief nimmt.

Bei der indirekten Inlay- und Kronentechnik spielt dieser Faktor naturgemäß eine unwesentliche Rolle, während zum Beispiel beim Abdruck eines unbezahn-ten Kiefers die Fähigkeit, Feuchtigkeit schadlos zu absorbieren, für ein Abdruckmaterial von Vorteil sein kann. Ein weiterer Punkt der Ungenauigkeit ist die Anmischmethode, bei der "das persönliche Moment" (KLEINSORGEN (12)) sich nicht ausschalten läßt. Es setzt sich zusammen aus den Verschiedenheiten der Handhabung des Spatels, der Art des Verteilens und Durchknetens des Gemisches aus Paste und Reaktor. Da nach EFFINGER (4) die Abformgenauigkeit eine Funktion von angewandtem Druck und Viskosität der Masse ist, ist eine Druckkonstanz während des Abdruckvorganges, wie auch von Abdruck zu Abdruck wünschenswert.

Dieses Ziel wurde der Praxis entsprechend mit der Nachahmung des Kupferringabdruckes angestrebt, doch läßt dabei die Häufigkeit von Blasenbildungen erkennen, daß es nicht ganz erreicht wurde. Die Gegenüberstellung beider Meßmethoden an einem Prüfling jedoch schließt die Beeinflussung der Ergebnisse durch die Druckkomponente aus. Die erwähnten Meßgrenzen des Lichtschnittmikroskopes, in Abhängigkeit von Vergrößerung und Apertur, erscheinen als Ungenauigkeitsfaktor. Eine geringere Rauhtiefe des Originals zur Herstellung der Abdrücke hätte sich günstig auf die Meßwerte auswirken können. Es gilt aber gerade die Wiedergabe einer relativ schmalen und tiefen Rille eher als ein Kriterium der Genauigkeit, als zum Beispiel die Reproduktion einer nur ca 5 - 10 μ tiefen Rille, die besser hätte ausgewertet werden können. Hieran wird deutlich, welchen Einfluß die Beschaffenheit des Originals an der Ermittlung der Oberflächenwiedergabe hat. Ein Prüfkörper, der sich durch eine hohe Anzahl gleichförmiger Erhabenheiten auszeichnet, ist für die Bestimmungen sicherlich insofern von Vorteil, als eine statistische Auswertung unproblematisch ist. Dahingegen lassen unterschiedliche Rauhtiefen eher eine Aufgliederung nach dem "Auflösungsvermögen (=Prägeschärfe)" einer Abdruckmasse zu.

Wenn man aus diesen beiden Anforderungen einen Kompromiss erarbeitet, erhält man ein Original, dessen Rauhtiefen kontinuierlich von der einen bis zur anderen Seite abnimmt. Hier ist ein Abdruck von verschiedenen Rauhtiefen möglich, zugleich leicht auszumessen und auch ebenso leicht statistisch auszuwerten (Mittelwert, Standardabweichung usw.). Voraussetzung ist nur, daß beide Endpunkte der Messung deutlich gekennzeichnet sind, was sich leicht durch entsprechende Konstruktion des Prüfkörpers erreichen ließe (siehe Abb.).



Die Abbildung zeigt den überhöht dargestellten Querschnitt durch den vorgeschlagenen Prüfkörper mit kontinuierlich von links nach rechts zunehmender Rauhtiefe (von 1μ bis 25μ) bei gleichem Rillenabstand. Dieser sollte ungefähr $100\mu = 0,1\text{ mm}$ betragen; zum Vergleich: beim benutzten Rauhnormal war er ca. 200μ .

7) Zusammenfassung:

Zwei Prüfungsverfahren zur Begutachtung der Oberflächenwiedergabe von Abdruckmaterialien wurden einander gegenübergestellt:

- 1) Das Lichtschnittmikroskop
(Fa. Carl Zeiss, Oberkochen)
- 2) Der Profilograph
(Dr. Förster, Reutlingen)

Es wurden vermittels eines Rauhnormales fünf verschiedene Abdruckmaterialien mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften nach beiden Methoden untersucht.

Anhand der festgestellten Rauhtiefen konnte dabei beim Profilographen eine Abhängigkeit der Ergebnisse von den physikalisch-mechanischen Eigenschaften der zu untersuchenden Proben nachgewiesen werden. Besonders bei weichen und / oder elastischen Materialien fällt eine Verkleinerung der gemessenen Profilegraphenwerte auf. Im Gegensatz dazu lagen die Lichtschnittmikroskopischen Werte, unabhängig von den Materialien, etwas höher, wobei die Standardabweichungen außer bei einem sehr weichen Abdruckmaterial wesentlich geringer war. Das Lichtschnittverfahren überzeugte besonders durch unkomplizierte Bedienung und gleichzeitig sichere Ergebnisse, auch bei besonders weichen und empfindlichen Materialien. Gerade hier zeigte der Profilograph Mängel indem er die Oberfläche verletzte, oder über kleine, durch die elastische Deformation entstandene Rauhhigkeiten hinwegsprang.

8) Literaturverzeichnis:

1 B R U N N E R, Th.:

Physikalische Eigenschaften von thermo-
plastischen Abdruckstoffen

Diss. Med. Dent. Zürich 1954

2 D O L D E R, E.:

Zahn- Mund- und Kieferheilkunde Band 5

Nichtmetallische Werkstoffe

Urban & Schwarzenberg München 1955, S. 698

3 E F F I N G E R, A.:

Volumen-, Gewichts- und Elastizitätsverhalten
zahnärztlicher Abdruckmassen auf Silikonbasis

Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 256 (1958)

4 E I C H N E R, K.:

Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und
ihre Verarbeitung

Berlinische Verlagsanstalt GmbH, Berlin 1960

5 E I C H N E R, K.:

Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren
und Schleifen von Zahnhartsubstanzen

Carl Hanser Verlag München 1966

- 6 F U H R, K.:
Messungen der Strukturvarianten
an Zahnoberflächen
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 178 (1968)
- 7 H E N K E L, G.:
Vergleichende Untersuchungen an Abdruckmaterialien
Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 646 (1955)
- 8 H E N K E L, G.:
Betrachtungen über Abdruckwerkstoffe für
den unbezahnten Kiefer
Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 1516 (1957)
- 9 H E N K E L, G.:
Zur werkstoffkundlichen Prüfung der Silikon-
abdruckwerkstoffe Silone, Permaflex, Lastic 55
Zahnärztl. Welt 11/57, 176 (1956)
- 10 H O L L A N D - M O R I T Z, A.:
Oberflächenuntersuchungen an polierten
und unpolierten Amalgamfüllungen
Med. Diss. Mainz 1968
- 11 I L L I G, W.:
Lichtschnittmikroskopie und ihre Anwendung
Werkstatt und Betrieb
11, 823 (1969)

- 12 K L E I N S O R G E N,
Aus der Praxis der Silikatzeemente
Zahnärztl. Welt 18, (1909)
- 13 L E N Z, E.:
Untersuchungen über die Verwendbarkeit von
schnellhärtenden Kunststoffen für Gußmodelle
Dtsch. Stomat. 14, 321 (1964)
- 14 M E Y E R, H. und U H L I G, H.:
über die sogenannte Abdruckschärfe
Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 1544 (1957)
- 15 S C H W I N D L I N G, R.:
Abdruckmaterialien in Eichner, K,
Leitfaden Zahnärztlicher Werkstoffe und
ihre Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt GmbH, Berlin 1960, S.41
- 16 S T E R N, B.:
Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffen-
heit verschiedener zahnärztlicher Zemente
Med. Diss. Mainz 1967
- 17 S T O F F R E G E N, J.:
Untersuchungen über Keimretention an ver-
schiedenen zahnärztlichen Kunststoffen
Med. Diss. Mainz 1967
- 18 V A N T H I E L, H.:
Zu einigen Problemen der totalen Gebißprothese
Dtsch. zahnärztl. Z. 6, 22 (1951)

- 19 W E I K A R T, P.:
Werkstoffkunde für Zahnärzte
4. Auflage Carl Hanser Verlag München 1966
S.214
- 20 W I L H E L M, W.:
Vergleichende Untersuchungen über die mittels
verschiedener Abdruckmaterialien hergestellten
Oberflächengestalten
Med. Diss. Mainz 1970
- 21 B E D I E N U N G S A N L E I T U N G
ZUM Profilographen Institut Dr. Förster
Reutlingen BA 5.815 2/66
- 22 I M P R E G U M
Broschüre von Espe
Seefeld (Oberb.) 1967
- 23 D E U T S C H E N O R M E N
Begriffe für die Gestalt von Oberflächen
Din 4760, 4761, 4762, 4763
- 24 G E B R A U C H S A N W E I S U N G
zum Lichtschnittmikroskop Carl Zeiss
Oberkochen G. 60-620/1-d
- 25 S P E C I F I C A T I O N No. 19
für elastomeres Abdruckmaterial
American Dental Association
November 1966

Besonders dankbar bin ich Herrn Professor Dr.
H. M a r x für die Überlassung des Themas
und für die zahlreichen Hinweise und Anregungen.

Ebenso danke ich Herrn Dipl. Mathematiker
W e t t e r für die Beratung in statistischen
Fragen und Fräulein Birnbaum und Frau Redlich
die mir bei der Herstellung der Fotos behilf-
lich waren.

Lebenslauf

Am 21. September 1945 wurde ich als Sohn des Zahn-
arztes Fritz Krebs und seiner Frau Erna, geb.
Fangmann in Oldenburg geboren. Seit 1950 wohnte
ich mit meiner Familie in Alzey und besuchte die
Volksschule von 1952 - 1956. Von da an bis zur
Ablegung der Reifeprüfung im März 1966 absolvierte
ich den neusprachlichen Zweig des Gymnasiums.
Im Sommersemester 1966 immatrikulierte ich mich
an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz um
Zahnmedizin zu studieren. Hier bestand ich im
WS 67/68 die naturwissenschaftliche Vorprüfung
und im SS 69 die zahnärztliche Vorprüfung.
Seit WS 69/70 besuche ich erfolgreich die kli-
nischen Kurse und Vorlesungen in Mainz.
Im August 1970 habe ich meine Frau Ellen, geb.
Meurer geheiratet.

Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Fragestellung ist die, inwieweit die
Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von Vitaminen auf den
Stoffwechsel des Menschen mit den Ergebnissen der Untersuchungen über die
Wirkung von Vitaminen auf den Stoffwechsel von Tieren übereinstimmen.
Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von Vitaminen auf den
Stoffwechsel des Menschen sind in der vorliegenden Arbeit dargestellt.
Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von Vitaminen auf den
Stoffwechsel von Tieren sind in der vorliegenden Arbeit dargestellt.
Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von Vitaminen auf den
Stoffwechsel des Menschen sind in der vorliegenden Arbeit dargestellt.
Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von Vitaminen auf den
Stoffwechsel von Tieren sind in der vorliegenden Arbeit dargestellt.
Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von Vitaminen auf den
Stoffwechsel des Menschen sind in der vorliegenden Arbeit dargestellt.
Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von Vitaminen auf den
Stoffwechsel von Tieren sind in der vorliegenden Arbeit dargestellt.

